

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

FLÁVIA MACHADO CROISFELT

**OPORTUNIDADES E ENTRAVES DO USO DE CADUSAFÓS NA CULTURA DA
SERINGUEIRA E AS IMPLICAÇÕES DA BIODEGRADAÇÃO**

UBERLÂNDIA

2019

FLÁVIA MACHADO CROISFELT

**OPORTUNIDADES E ENTRAVES DO USO DE CADUSAFÓS NA CULTURA DA
SERINGUEIRA E AS IMPLICAÇÕES DA BIODEGRADAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Engenheiro
Ambiental.

Orientação: Prof. Dr. Lísias Coelho

UBERLÂNDIA

2019

FLÁVIA MACHADO CROISFELT

**OPORTUNIDADES E ENTRAVES DO USO DE CADUSAFÓS NA CULTURA DA
SERINGUEIRA E AS IMPLICAÇÕES DA BIODEGRADAÇÃO**

Aprovado em 08 de março de 2019.

Prof. Dr. Lísias Coelho
(Orientador – Universidade Federal de Uberlândia)

Prof. Dr. Ernane Miranda Lemes
(Examinador – Universidade Federal de Uberlândia)

M.Sc. Luciana de Melo Pirete
(Examinadora – Universidade de São Paulo)

UBERLÂNDIA

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e à minha irmã por me proporcionarem a oportunidade de buscar uma profissão e pelo apoio incondicional em todas as minhas decisões.

Aos meus amigos pelo companheirismo, parceria e por estarem comigo nos bons e maus momentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Lísias Coelho, por acreditar no tema e me auxiliar constantemente na construção deste trabalho, de forma sempre solícita, com muita paciência e dedicação.

Aos meus professores, que contribuíram para minha jornada na Universidade e fizeram parte da minha formação pessoal e profissional.

RESUMO

A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é originária da Amazônia e é a maior responsável pelo fornecimento de borracha natural do mundo. O cultivo extensivo no Brasil migrou da região amazônica para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do país devido ao ataque do mal-das-folhas. No entanto, a produção de látex brasileiro atualmente é prejudicada por doenças causadas por nematoides, principalmente da espécie *Meloidogyne exigua*, de controle bastante dificultado pelas inúmeras formas de disseminação. Uma das alternativas de manejo é o uso de defensivos químicos, como é o caso do cadusafós, bastante utilizado no controle de nematoides nas culturas de café e soja. Atualmente, não há indicação de seu uso na heveicultura (cultivo de seringueira) e não se conhecem as reais implicações deste manejo na produção do látex. Estudos que descrevem o uso de cadusafós em outras culturas, como batata, tomate, grão de bico e banana, abordam fatores que influenciam a eficiência do cadusafós neste processo e destacam principalmente o processo de biodegradação. Bastante relevante do ponto de vista ambiental, do ponto de vista agrônomo a biodegradação pode significar desperdício de recursos e inutilização das aplicações de defensivos químicos. Diante deste contexto, analisou-se o possível de cadusafós na cultura da seringueira, com base em estudos da biodegradação deste defensivo utilizado no manejo de nematoses de diferentes culturas.

Palavras-chave: biodegradação, heveicultura, nematicidas.

ABSTRACT

The rubber tree (*Hevea brasiliensis*) originates from the Amazon and is responsible for the supply of natural rubber in the world. Extensive cultivation in Brazil migrated from the Amazon region to the Midwest and Southeast regions due to the attack of the Southern Leaf Blight. However, Brazilian latex production currently is jeopardized by diseases caused by nematodes, mainly of the species *Meloidogyne exigua*, of control greatly hampered by the numerous dissemination forms of the pathogen. One of the management alternatives is using chemical pesticides, such as cadusafos, widely used for nematode control in coffee and soybean crops. Currently, there is no indication of its use in rubber orchards and the real implications of this type of management are not known. Studies that describe cadusafos use in other crops, such as potato, tomato, chickpeas and banana, address factors that influence cadusafos efficiency in this process and emphasize mainly the biodegradation process. Quite relevant from the environmental point of view, biodegradation can mean the waste of resources and the disablement of chemical pesticides applications from the agronomic point of view. Therefore, the possible use of cadusafos in the rubber tree crop was analyzed, based on studies of the biodegradation of this nematocide used in the management of nematodes from different cultures.

Keywords: biodegradation, heveiculture, nematicides.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1	A cultura da seringueira.....	8
2.2	Pragas e doenças comuns da heveicultura	9
2.3	Fitonematoides na agricultura.....	9
2.4	Controle e manejo de nematoides	11
2.5	Pesticidas e a importância da biodegradabilidade	12
2.6	Biodegradação do cadusafós - casos e fatores envolvidos	14
2.6.1	Fatores bióticos.....	15
2.6.2	Fatores abióticos	18
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
4	CONCLUSÕES.....	23
	REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de látex gera em torno de 80 mil empregos no campo e na indústria (PDA, 2018). Ainda que bastante promissora, a atual produção brasileira não supre toda a necessidade do país, uma vez que dois terços do total consumido advêm da produção asiática (DW, 2012). No entanto, estudos demonstram que a implantação de novas tecnologias para o cultivo na Amazônia pode tornar o mesmo mais relevante no país e no cenário mundial (EMBRAPA, 2013).

Na esfera ambiental, a heveicultura (cultivo de seringueira) também se mostra positiva. Um seringal se assemelha a uma floresta tropical, o que contribui para a fixação de CO₂ da atmosfera. Ademais, produção de borracha natural não demanda muita energia, quando comparada à produção sintética e após a sangria por 30 a 35 anos, as árvores podem ainda ser aproveitadas para a produção de móveis (IAC, 2013; DW, 2012).

Os principais entraves para o cultivo de seringueira são pragas e doenças. A seringueira pode ser afetada por secamento e nodulosidade no painel de sangria, deficiência nutricional (NPK, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), deficiência hídrica, escaldadura, pata de elefante e variação (GASPAROTTO et al., 2016). Doenças no caule, como o cancro-estriado, cancro de tronco, mofo cinzento, além da podridão do caule, também são comuns (GASPAROTTO et al., 2016).

A alternativa mais comum para o controle de pragas e doenças é o uso de defensivos químicos. O Brasil é considerado atualmente o maior consumidor de agrotóxicos mundial, em termos absolutos, utilizando o equivalente a 7,3 litros por habitante (RG, 2018). No entanto é importante avaliar também o uso de acordo com a área de produção, o que posiciona o país na 13ª colocação no ranking dos países que mais utilizam defensivos na produção agrícola (SINDIVEG, 2018).

Os agrodefensivos são potencialmente cancerígenos, tóxicos aos sistemas nervoso, endócrino e imunológico, persistentes e contaminantes do ambiente, atingem também corpos hídricos superficiais e, ou, subterrâneos, tornando a água imprópria para consumo pelos animais e populações (BOHNER et al., 2013).

A utilização da biodegradação é uma alternativa para os danos causados pelos compostos químicos agrícolas. É um processo que requer conhecimento dos requisitos físicos, biológicos e químicos do processo como um todo, pois a ação dos microorganismos e sua eficácia dependem de fatores externos que os afetam diretamente.

Um nematicida comumente utilizado no controle de nematoides dos gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus* em cultivo de café, algodão, cana-de-açúcar e soja e também em cultivo de batata para o controle de *Globodera rostochiensis* e *G. pallida* é o cadusafós (FMC, 2008). Este produto tem potencial para uso na heveicultura para o controle de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus brachyurus*.

Diante do contexto apresentado, o objetivo deste trabalho foi relatar o potencial de biodegradabilidade do cadusafós, de acordo com as características intrínsecas a este pesticida e fatores externos que influem neste processo, de forma que seja possível destacar a importância do uso prudente deste recurso de controle de nematoides (*Meloidogyne exigua*, especificamente), principalmente no que diz respeito ao possível uso no cultivo de seringueira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da seringueira

A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é uma árvore originária da Amazônia. De ciclo de vida longo, pode atingir de 20 a 30 m de altura e 30 a 60 cm de diâmetro, em condições favoráveis de desenvolvimento (IAC, 2013). A seringueira pertence à família *Euphorbiaceae*, sendo a mais importante espécie cultivada do ponto de vista comercial entre as 11 conhecidas do gênero (AGUIAR et al., 2010). É a maior responsável pelo fornecimento de borracha natural do mundo, relevante, principalmente, para a indústria automobilística, especificamente para a produção de pneus (IAC, 2013). Além disso, possui resiliência, elasticidade e resistência à abrasão e ao impacto superiores aos polímeros sintéticos (IAC, 2013). Na Ásia, a seringueira é intensamente cultivada, principalmente na Indonésia, Sri Lanka e Tailândia, sendo responsáveis por 90% da produção mundial de borracha natural. A ausência de doenças limitantes é fator determinante para tal fato (GASPAROTTO et al., 2016).

Apesar de originária da região amazônica, a produção de látex obteve maior sucesso no sudeste do Brasil. Inicialmente explorada de forma extrativista na Floresta Amazônica, o clima não favoreceu o plantio extensivo e a produção migrou para o Centro-Oeste e Sudeste do país (GASPAROTTO et al., 2016). O estado de São Paulo é responsável por 54% do total de látex produzido no país, sendo as cidades de São José do Rio Preto, Barretos, Catanduva e Marília as maiores expoentes (TAKAHASHI, 2015), com movimentação de cerca de R\$590 milhões em 2017 (PDA, 2018).

2.2 Pragas e doenças comuns da heveicultura

A falta de sucesso da heveicultura na Amazônia deu-se, sobretudo, devido a uma doença bastante comum que atinge as folhas da seringueira, o chamado “mal-das-folhas”. Causado pelo fungo *Microcyclus ulei*, o mal-das-folhas foi o responsável por retirar o Brasil da posição de maior produtor de borracha mundial no início do século XX (TAKAHASHI, 2015). Este fungo parasita as folhas, especialmente os folíolos novos, causando a queda sucessiva de folhas e subsequente morte da planta (PINHEIRO et al., 2002). Além disso, impossibilita a prática de enxertia, pois as o desfolhamento evita que as cascas sejam soltas, o que inviabiliza a reprodução e produção de novas plantas (AGEITEC, 2012a).

A seringueira, no entanto, apresenta alta adaptabilidade, o que permite a sua inserção em locais de padrões climáticos diferentes da sua região de origem, onde a troca de folhas ocorre nos períodos menos úmidos, como no planalto oeste do estado de São Paulo. O desenvolvimento da doença não é favorecido, já que a troca sazonal de folhas não permite a ocorrência da doença em condições epidêmicas (PINHEIRO et al., 2002; TAKAHASHI, 2015).

2.3 Fitonematoides na agricultura

Os fitonematoides são organismos microscópicos encontrados em diversos habitats (solo, água salgada e doce) sendo em sua maioria parasitas. Podem alimentar-se de bactérias e fungos ou das próprias raízes das plantas, causando doenças que dificultam o desenvolvimento vegetal e levam à sua morte (AGEITEC, 2012a). São responsáveis por 12% das perdas anuais médias da produção agrícola mundial, já que a maioria das plantas é parasitada por no mínimo uma espécie de nematoide (SOARES, 2006).

Os fitonematoides endoparasitas invadem tecidos radiculares e se desenvolvem dentro das raízes, enquanto os ectoparasitas crescem externamente às raízes. Eles impedem a absorção de nutrientes e água pela planta através de um estilete, que retira o conteúdo das células. A dimensão do dano causado depende da densidade populacional dos microrganismos, das práticas agrícolas empregadas, do solo local e das características bióticas da região (AGEITEC, 2012a).

Os fitonematoídeos de maior relevância são do gênero *Meloidogyne*, pois parasitam grande número de plantas, o que resulta em elevadas perdas de produção. Neste sentido, o controle da ação destes nematoídeos representa grande interesse econômico (TAKAHASHI, 2015).

O primeiro caso relatado da ocorrência de *Meloidogyne* no cultivo de seringueira aconteceu no Congo Belga, em 1921 (atual República Democrática do Congo). No Brasil, o primeiro registro foi relatado nos municípios de Rondonópolis e em São José do Rio Claro, ambos no estado do Mato Grosso. Desde então, é crescente a ocorrência de *M. exigua* em áreas de cultivo de seringueiras, como acontece nos municípios de Prata e Nanuque, em Minas Gerais, e Goianésia, em Goiás (WILCKEN et al., 2015).

Os gêneros *Pratylenchus* e *Meloidogyne* são considerados os mais relevantes para o cultivo de seringueira, sendo *P. brachyurus*, *M. exigua* e *M. incognita* os mais recorrentes nesta cultura. *Meloidogyne exigua* é considerada a de maior interesse devido à sua disseminação nos seringais brasileiros. Essa espécie apresenta danos diretos, como o descortçamento e a morte descendente de ramos, e indiretos, como a viabilização do ataque de fungos secundários, como *Lasioidiplodia theobromae* (WILCKEN et al., 2015).

Meloidogyne exigua é um nematoídeo biotrófico que se alimenta exclusivamente do citoplasma de células vegetais vivas. Ocasionalmente, por conta de seu comportamento parasita, o desenvolvimento de células gigantes (galhas) nas raízes do indivíduo hospedeiro (SILVA, 2009). O comprometimento do sistema radicular prejudica o desenvolvimento da planta, pois o aspecto anatômico das raízes e a absorção e o transporte de nutrientes são modificados (SILVA, 2009).

Meloidogyne exigua é bastante comum nos cultivos cafeeiros e provavelmente a espécie que mais prejudica o desenvolvimento da cultura cafeeira no Brasil, apesar de não ser necessariamente a espécie mais agressiva (SILVA et al., 2008). Atinge também o tomateiro e o pé de pimentão. A espécie pode ainda ser subdividida em raças, de acordo com sua capacidade de infectar diferentes espécies vegetais, sendo (a) capaz de infectar o pé de pimentão e o cafeeiro, mas não o tomateiro; (b) infectar as três espécies vegetais; (c) não atinge nenhum dos demais, porém é capaz de infectar a seringueira (SILVA, 2009).

2.4 Controle e manejo de nematoides

Os nematóides, uma vez introduzidos nas culturas, são praticamente impossíveis de extinguir. Uma das principais formas de controle é a prevenção, principalmente através do plantio de mudas certificadas, livres do patógeno (AGEITEC, 2012b).

Para regiões em que o patógeno está presente no solo e nas plantas, podem ser empregadas diferentes formas de controle, como medidas químicas, biológicas, mecânicas e culturais. Práticas como a rotação de culturas e adubação verde com plantas antagonistas apresentam efeitos positivos, porém não apresentam efeito e retorno financeiro imediato, o que faz com que haja resistência a esse método (MOREIRA et al., 2015).

Estudos mostram o uso de óleos essenciais, defensivo de uso crescente nos cultivos orgânicos para a obtenção de compostos nematicidas naturais. No entanto, esta é uma alternativa não muito explorada, ainda que não ofereça riscos à biota e ao meio físico (MOREIRA et al., 2015).

Por mais que o uso de defensivos agrícolas químicos seja cada vez mais restrito pela alta toxicidade e baixa eficácia de controle, principalmente por uso sucessivo e extensivo (ARAÚJO et al., 2012) estima-se, que o uso desta forma de controle de pragas ainda possa apresentar relevância no futuro (BARBOSA, 2008).

Entre os nematicidas mais utilizados atualmente está o carbofurano, produzido pela FMC Agrícola e comercializado no Brasil pelo nome “Furadan 350 SC”. O carbofurano é indicado para o controle de *Meloidogyne javanica*, *Pratylenchus zae*, *Helicotylenchus dihystra* na cana-de-açúcar e *M. javanica* no tomateiro. Este defensivo é considerado Classe I, na classificação toxicológica (Extremamente Tóxico) e Classe II na classificação ambiental (Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente), como consta na Bula fornecida pelo próprio fabricante (FMC, 2017).

Destaca-se também a importância do uso do terbufós, produzido pela AMVAC Chemical Corporation, comercializado no Brasil com o nome “Counter 150 G”, também considerado Classe I na classificação toxicológica e Classe II na classificação ambiental. Ele é indicado para o controle de *Radopholus similis* na banana, *M. javanica*, *P. zae*, *H. dihystra* na cana-de-açúcar, *M. exigua* e *M. incognita* no café e *P. brachyurus* no feijão (AMVAC, 2018).

Relevante também é o uso da fluensulfona, produzida pela Adama e comercializado no Brasil com o nome “Nimitz”. Diferente dos demais, que abrangem outros patógenos de diferentes origens e atuações, age no controle de nematoses no cultivo do algodão, da batata,

do café, da cana-de-açúcar, da cenoura, de citros, da goiaba, da pimenta-do-reino, do pimentão, da soja e do tomate, contra espécies dos gêneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus* e *Tylenchulus*. É classificado como Classe I na classificação toxicológica e Classe II na classificação ambiental (ADAMA, 2018).

O cadusafós é um defensivo agrícola produzido pela FMC agrícola, comercializado no Brasil com o nome “Rugby 200 CS”, composto majoritariamente por 200 g L⁻¹ de S,S-di-sec-butil O-etil fosforoditioato (Cadusafós). Categoriza-se na Classe III em termos de toxicidade geral (medianamente tóxico) e Classe II de periculosidade ao que se refere a danos ao meio ambiente, (altamente móvel - alto potencial de deslocamento no solo, podendo atingir águas subterrâneas) (FMC, 2008). Seu uso aparece no controle de nematoides em cultivos de banana (KARPOUZAS et al., 2004a), tomate (MEHER et al., 2010a) uva e amendoim (ZEHNG et al., 1994), além das culturas já citadas neste texto. Há ainda registros da utilização de cadusafós para testes de redução da população larval dos insetos *Antitrogonus parvulus* e *A. ntitrogonus consanguineus* como uma possível alternativa mais econômica para controle destas espécies em cultivos de cana-de-açúcar (ALLSOPP; MCGILL, 1997).

As indicações nas bulas dos nematicidas citados não incluem o uso em seringueira, ainda que o *Meloidogyne exigua* seja uma preocupação dos produtores de borracha natural no Sudeste e Centro-Oeste brasileiro. Isso se deve especialmente ao impacto econômico que as culturas do café e da soja, por exemplo, têm em detrimento à produção de borracha natural no Brasil.

O Brasil exportou, em 2017, cerca de US\$ 5,2 bilhões, referentes a 30,7 milhões de sacas de café (CECAFE, 2017) e 68,1 milhões de toneladas de soja, equivalente a US\$ 25,7 bilhões (EMBRAPA, 2018a), o que garante ao país posições importantes no cenário mundial. Por outro lado, a borracha natural brasileira não é suficiente para suprir a demanda nacional, sendo responsável por apenas 35% do consumo interno; os outros 65% são provenientes dos gigantes asiáticos (GR, 2017).

2.5 Pesticidas e a importância da biodegradabilidade

O agronegócio no Brasil é responsável por aproximadamente 23,5% do PIB nacional (IBGE, 2018) e a indústria de defensivos agrícolas contribui com parte deste percentual. Em 2010, cerca de US\$ 7,3 bilhões de receita foram gerados pela indústria de defensivos agrícolas (SILVA; COSTA, 2010).

Apesar de controverso, é indiscutível que o uso de substâncias químicas deve ser regulamentado e controlado, para que seja minimamente seguro para os indivíduos envolvidos na operação. No Brasil, os agrotóxicos são regulamentados pela lei Nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que compreende:

a pesquisa, experimentação, produção, embalagem e rotulagem, transporte, armazenamento, comercialização, propaganda comercial, utilização, importação e exportação, destino final dos resíduos e embalagens, registro, classificação, controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins (BRASIL, 1989).

O uso constante e sucessivo de agrotóxicos ocasiona o fenômeno da bioacumulação, que é resultante de repetidas aplicações no solo da mesma região, somadas à capacidade de alta absorção e dificuldade de eliminação pelos seres vivos, na mesma proporção. Esse processo pode evoluir para a chamada biomagnificação, que corresponde ao aumento da concentração de um composto a cada nível da cadeia alimentar, o que pode afetar o funcionamento de todo um ecossistema (AGEITEC, 2014).

Por conta da intercomunicabilidade dos sistemas hídricos e das interações entre comunidades e ecossistemas, torna-se complexo avaliar o alcance e o efeito real dos defensivos agrícolas no ambiente. Atinge-se a biota que não se deseja afetar e locais que não são diretamente alvo da aplicação, o que, sem controle do real alcance geográfico e cronológico das consequências, causa efeitos irreversíveis (AGEITEC, 2014). O caminho percorrido pelo agrotóxico depende da estrutura dos compostos, das condições ambientais e meteorológicas, da população microbiológica do solo, da presença de matéria orgânica, das práticas de manejo do solo e da localização geográfica e topográfica da aplicação (AGEITEC, 2014). Parte do que é utilizado é incapaz de exercer a função desejada, pois ocorrem perdas no processo por meios físicos (entre 2% a 90% podem ser perdidos, carregados pela água ou volatilizados) ou processos biológicos, como os fenômenos de biotransformação (reações químicas geralmente mediadas por enzimas que convertem o composto original em uma substância secundária) e adaptação cruzada (a resistência da planta a um determinado estresse leva à resistência a outra forma ou tipo de estresse) que resultam na redução da persistência do defensivo no solo e da eficiência no combate às pragas e doenças (MEHER et al., 2010b).

Perdas por processos biológicos podem significar prejuízos aos produtores, como é o caso do controle da ferrugem asiática da soja que apresenta o custo médio de US\$ 2 bilhões por safra, o que aponta para uma redução da eficiência desses produtos desde a safra 2007/08 (SNA, 2015) e necessidade de buscar alternativas de manejo mais sustentáveis, com novas formas de rotação de culturas e defensivos.

Ao mesmo tempo, a interação entre os processos biológicos naturais e os defensivos químicos apresenta uma alternativa para a degradação dos compostos que persistem no ambiente e tem danos incalculáveis, como anteriormente descritos. A biodegradação pode contrabalancear os efeitos da bioacumulação.

O processo de biodegradação consiste na transformação de moléculas xenobióticas, (geralmente de origem orgânica) por microrganismos, catalisada por enzimas (AGEITEC, 2015). Quando sob condições aeróbias, resulta na mineralização da substância orgânica para CO₂ e H₂O, com a liberação de amônio, sulfato, fosfato ou cloreto, se parte da composição é nitrogênio, enxofre, fósforo ou cloro, respectivamente. Este processo pode acontecer também em condições anaeróbias, gerando metano além de CO₂ (SILVA et al., 2008b).

2.6 Biodegradação do cadusafós - casos e fatores envolvidos

Nematoides parasitas são responsáveis por prejudicar o desenvolvimento de 12% dos cultivos agrícolas no mundo, o que corresponde a um prejuízo anual de aproximadamente US\$ 157 bilhões. Desse total, 5% correspondem à ação de nematoides das galhas, como é o caso de *Meloidogyne* spp. (SOKHANDANI, 2016).

O uso de nematicidas químicos tem demonstrado, ao longo dos anos, eficácia no controle de nematoides, porém sem muita variedade no mercado (MEHER et al., 2010a) o que faz com que o mesmo produto seja utilizado sucessivas vezes no mesmo local. Este processo acaba por gerar o efeito contrário do desejado: aplicações repetidas e em maior quantidade tendem a diminuir o potencial nematicida dos compostos (KARPOUZAS et al., 2004a; KARPOUZAS et al., 2005; MEHER et al., 2010a; ABO-AMER, 2012).

Karpouzias et al. (2004a) definem que são necessárias entre 6 a 8 semanas de persistência no solo para que o controle dos nematoides seja eficaz. No entanto, este período tende a ser menor devido à aceleração dos processos de biotransformação e biodegradação, ocasionados pelo uso sucessivo. Estes autores citam, ainda, que em alguns estudos com plantios de bananas na Austrália foram necessárias cinco aplicações sucessivas para que o cadusafós perdesse grande parte de seu potencial nematicida. Não somente o número de

aplicações influencia como também a forma como é aplicado no solo. Estudos na África do Sul com citrus demonstram que a biodegradação é relevante quando a aplicação é feita por gotejamento, diferente de quando é feita por aspersão, em que perda da eficiência foi insignificante (KARPOUZAS et al., 2004a).

2.6.1 Fatores bióticos

Karpouzas et al. (2005) abordam em seu trabalho a relação entre a presença de isolados de bactérias e a concentração de cadusafós. É descrita a utilização de uma técnica de enriquecimento de cultura de microorganismos que degradam este defensivo a partir de uma amostra de solo de cultivo de batata, tratado por 7 anos com cadusafós, no norte da Grécia. Neste estudo foram isoladas e caracterizadas duas culturas puras, identificadas como populações de *Flavobacterium* sp. e *Sphingomonas paucimobilis* após sequenciamento genético. Ambas foram capazes de degradar completamente o cadusafós em dois meios diferentes (contendo sais minerais, suplementado com nitrogênio, e extrato de solo, respectivamente) em um intervalo de 48h.

Estes autores também testaram o desempenho da mesma biota com fontes adicionais de carbono (ácido succínico e glicose). As fontes extras impactaram positivamente a proliferação da população, o que otimizou o processo de degradação completa, que aconteceu em 58% do tempo necessário para que a mesma biota degradasse o composto, sem adição de carbono extra. Esta mesma biota também foi capaz de degradar um defensivo análogo ao cadusafós, o etoprofós.

A relevância da biota do solo na degradação do cadusafós é evidenciada em outro estudo de Karpouzas et al. (2004a), onde foi apontado que mecanismos de inibição do crescimento de bactérias podem ter efeitos diretos sobre o processo de biodegradação. O estudo foi realizado em áreas de monocultura de batatas, no norte da Grécia, tratadas com cadusafós por 7 anos. A aplicação de antibióticos, combinados ou isoladamente, em meios tratados com cadusafós, resultou na inibição dos processos de degradação, destacando assim a influência das bactérias do solo, especificamente bactérias Gram positivas, alvo dos antibióticos utilizados (penicilina, lincomicina e vancomicina).

Karpouzas et al. (2004a) identificaram o mesmo comportamento em relação ao defensivo análogo (etoprofós): a biota capaz de degradar o cadusafós também degradou o etoprofós. Este padrão indica que se torna mais difícil alternar o uso de defensivos entre

diferentes compostos, uma vez que o fenômeno de adaptação bacteriana cruzada intensifica a degradação dos compostos, tornando-os gradativamente menos eficientes.

Em terceiro trabalho, Karpouzas et al. (2004b) descrevem como a associação a outros pesticidas não análogos pode inibir a ação da biota degradante de cadusafós. Foi analisada a influência do processo de fumigação do solo com dois diferentes pesticidas (brometo de metila e metam sódico) em amostras de solo previamente tratadas cinco vezes com cadusafós.

Em teste inicial, verificou-se que as taxas de degradação de cadusafós no solo tornaram-se menores após a esterilização do solo com clorofórmio. Foram coletadas amostras de solo provenientes de uma casa de vegetação comercial no norte da Grécia, utilizada para estudos de eficiência de nematicidas. Três amostragens diferentes foram feitas, sendo a primeira tratada apenas com cadusafós por cinco vezes em um período de 30 meses; a segunda com o mesmo tratamento, porém também fumigada com brometo de metila e a terceira também com a mesma aplicação de cadusafós durante o mesmo período, mas fumigada com metam sódico.

A fumigação é um tipo de tratamento por via seca utilizado no controle de pragas, com pesticidas ou compostos químicos voláteis, em meio hermético (EMBRAPA, 2018b). Este processo não é restrito apenas a agricultura, já que é utilizado em tratamentos fitossanitários para evitar que doenças sejam disseminadas em exportações e importações de produtos, sendo realizado também em locais de armazenamento de produtos, como containers (FSB, 2015).

No primeiro ensaio, trataram-se as amostras com cadusafós 9 meses após a fumigação com as duas substâncias analisadas. Notou-se que na amostra fumigada com brometo de metila a biodegradação foi inibida apenas temporariamente enquanto que na amostra fumigada com metam sódico, a biodegradação foi consideravelmente impactada.

No segundo ensaio, as amostras de solo foram tratadas com cadusafós 20 dias após a fumigação com os dois compostos e, nos dois casos, a biodegradação foi significativa e rapidamente prejudicada. Os autores concluíram que a ineficiência do brometo de metila após 9 meses se deve à recuperação da biota biodegradante neste período enquanto o desempenho oposto do metam sódico no mesmo intervalo se deve a um possível efeito desconhecido na mesma biota, que não foi explorado pelo estudo, mas que foi significativo no que diz respeito à biodegradação do cadusafós.

Por fim os autores sugerem que o processo de fumigação funcione como uma boa associação ao uso do cadusafós, uma vez que, utilizado antes do plantio, garante uma boa persistência do cadusafós aplicado após o plantio em casas de vegetação.

Além de oferecer um desempenho considerado negativo, no que diz respeito a potencializar o efeito nematicida do cadusafós, o brometo de metila foi incluído em 1992 na lista das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDO) do Protocolo de Montreal. O Brasil é signatário, o que significa que foi estabelecido um plano para seu desuso (MMA, 2015). O compromisso brasileiro foi de, a princípio, reduzir o consumo em 20% até 2005 e banir completamente até 2015. No entanto, este composto ainda é utilizado em tratamentos fitossanitários nas operações de importação e exportação (PDA, 2016).

Meher et al. (2010b) apontam, em seu trabalho, o processo de biodegradação não somente do cadusafós mas também do carbosulfano e do triazofós, este último do mesmo grupo do cadusafós (organofosforado). Foram analisadas não somente a persistência dos defensivos no solo, mas também a eficiência destes três compostos no controle dos nematoides, ou seja, o fenômeno de biodegradação a partir da população de parasitas e das galhas formadas.

O estudo, que foi conduzido em Nova Deli, na Índia, apresentou influências das condições tropicais no processo de biodegradação do cadusafós. O solo utilizado na amostragem estava naturalmente infestado por nematoides e não apresentava histórico de uso de nematicidas.

Neste trabalho foram utilizadas três diferentes tipos de amostra: controle, amostra sem nematicida e amostra com uma dose específica de cada defensivo. Foram transplantadas mudas de tomate em sete ciclos, duas vezes ao ano (em março e setembro), que foram retiradas após quatro meses (no verão) e após 6 meses (no inverno) para avaliação das taxas de invasão das raízes e formação de galhas. Realizou-se a avaliação da eficiência do nematicida, que aconteceu após cada um dos sete tratamentos com os defensivos analisados, porém, a persistência do nematicida foi avaliada apenas após a 4ª e 7ª aplicações.

Atentou-se ao fato de a eficiência ser relevante até a 7ª aplicação, quando decresce significativamente, consequência da baixa persistência observada nesta fase do estudo. A degradação dos defensivos foi maior em solos com histórico de aplicações do que nas amostras controle, o que levou os pesquisadores a concluírem que este comportamento se deve a mecanismos de adaptação desenvolvidos pela biota do solo.

Em geral, no que diz respeito ao grupo de agrotóxicos utilizados neste trabalho, os autores entendem que estes podem ser utilizados de forma intercalada ou sucessivamente por até 4 vezes para que a eficiência seja garantida. O autor também destaca o fenômeno de adaptação cruzada ao descrever que, considerando que o cadusafós e o triazofós são do

mesmo grupo (organofosforados), o uso intercalado pode, a longo prazo, significar aumento do processo de biodegradação.

Em um segundo estudo, Meher et al. (2010a) comparam a eficiência do carbosulfano e dos organofosforados triazofós, forato e cadusafós em duas diferentes culturas (tomate e grão de bico). A análise abrangeu também persistência dos defensivos no solo, absorção pelas raízes e sementes verdes, dissipação e translocação. O estudo foi conduzido na Índia, em Nova Déli, e foram utilizadas amostras de solo com populações naturais de *Meloydogine incognita* e *Rotylenchulus reniformis*.

Os autores prepararam três tipos diferentes de amostras nas seguintes condições: amostra controle (sem defensivo), amostra contendo 1 kg de defensivo e amostra contendo 2 kg de defensivo, replicadas cinco vezes para cada uma das substâncias analisadas. Optou-se por avaliar a eficiência com base na população de nematoides e a taxa de galhas formadas, enquanto os resíduos de defensivos no solo para a avaliação dos processos de absorção, persistência, dissipação e translocação foram quantificados com base nos subprodutos formados.

O estudo descreve que a dissipação foi maior no grão de bico e a absorção do cadusafós e triazofós foi maior no tomate, enquanto que os resíduos nas sementes verdes foram menores que os máximos permitidos no país (Índia). O cadusafós e o triazofós foram, portanto, os considerados mais eficientes no combate à *M. incognita* e também no controle da população de *R. reniformis*. Neste sentido, os autores recomendam que os dois compostos sejam utilizados alternadamente como forma de proteger a cultura de tomate e grão de bico dos nematoides.

2.6.2 Fatores abióticos

Aspectos físicos também apresentam influência no processo de biodegradação pela biota. Em seu trabalho, Abo-Amer (2012) isolou linhagens de bactérias potencialmente capazes de degradar cadusafós. Foram identificados cinco isolados de *Pseudomonas putida* que apresentaram relevantes taxas de biodegradação e estes foram caracterizados genética, morfológica e bioquimicamente. Na sequência, selecionou-se deste segundo grupo a linhagem mais bem-sucedida e observaram-se as variações de degradação de acordo com condições de temperatura, fontes de carbono, concentração do defensivo e presença de fosfato, assim como em relação ao crescimento da população bacteriana.

Em relação à temperatura, a degradação aconteceu de maneira mais rápida a 20 °C (completa em 6 dias) e 37 °C (completa em 5 dias), enquanto entre a 10 °C deu-se de forma mais lenta (completa em 10 dias) e 45 °C foi consideravelmente prejudicada com apenas 35% do defensivo degradado em 10 dias. O autor entende que este padrão se deve à habilidade de desenvolvimento da biota nestas temperaturas.

As fontes extras de carbono tiveram impacto negativo sobre a degradação do cadusafós. Considerando o mesmo período (5 dias), enquanto nas amostras sem fontes extras, a degradação foi completa, nas parcelas contendo glicose ou ácido succínico, 65% do cadusafós não foi degradado. O autor compreende que este comportamento se deve ao fato de que as bactérias utilizam o carbono extra inserido (de estrutura mais simples) ao invés do cadusafós como fonte de carbono.

No entanto, o autor cita um segundo estudo em que utilizou-se piruvato como fonte extra de carbono para *P. putida* na degradação de naftaleno e este processo foi otimizado, o que o levou a concluir que fontes extras de carbono, em geral, podem ter impacto negativo ou positivo na performance de *P. putida* como agentes degradadores de pesticidas.

Abo-Amer (2012) conclui que a concentração de cadusafós impacta as taxas de degradação. Em uma faixa inicial de 5 a 10 mg L⁻¹, a taxa de degradação de 1,07 e 0,81 mg dia⁻¹ foi completa em 5 dias, enquanto na faixa entre 20 a 40 mg L⁻¹, a degradação aconteceu na ordem de 0,66 e 0,63 mg dia⁻¹ e foi completa após 6 dias, considerada a taxa máxima, uma vez que qualquer incremento à concentração não impactou a taxa de degradação.

O autor também explora como a presença de fosfato influencia neste processo. Fontes adicionais de fosfatos impactaram positivamente as taxas de degradação, que aconteceu de forma mais acelerada, comparado ao que ocorreu nas amostras contendo apenas cadusafós. Abo-Amer (2012) conclui que isso se deve à capacidade das bactérias assimilarem o fósforo orgânico proveniente da fonte extra de forma mais rápida do que o fornecido pelo cadusafós.

Em última análise, relacionou-se a degradação ao desenvolvimento da população bacteriana e concluiu-se que o crescimento populacional é diretamente proporcional à degradação de cadusafós. Os testes realizados com as linhagens isoladas por Abo-Amer (2012) não foram realizados em amostras de solo, mas sim em meios de cultura contendo diferentes concentrações de cadusafós, sob as diversas condições descritas.

Testes com amostras de solo foram posteriormente realizados, com parcelas provenientes de diferentes fazendas na Arábia Saudita, esterilizados e não esterilizados, inoculados com *P. putida* em diferentes proporções. Amostras esterilizadas e não esterilizadas

com alta concentração de bactérias apresentaram boas taxas de degradação, mas as mesmas amostras com menor concentração bacteriana apresentaram boas taxas apenas no solo estéril e não no não-estéril, o que autor relaciona à competição existente entre a biota natural do solo e a população de *P. putida* inoculada.

Elshafei et al. (2009) descrevem a importância dos processos de sorção (absorção e adsorção) e dessorção. Absorção se refere à incorporação de um composto em um estado a outro composto em um estado diferente (um líquido incorporado a um sólido, por exemplo), enquanto adsorção refere-se à adesão de uma molécula a outra, ambas em mesmo estado físico. A dessorção consiste em processo contrário aos citados. Esses processos descrevem, entre outras variáveis, a capacidade de movimentação dos pesticidas no solo, na horizontal e vertical, potencialmente atingindo áreas não desejadas.

Em seu trabalho, Elshafei et al. (2009) investigam o processo de adsorção do cadusafós no solo de duas diferentes regiões no Egito e avaliaram como a concentração da solução, o tempo de contato, o pH, a temperatura e a massa do solo influenciam a adsorção. Concluiu-se que a adsorção é menor no solo argiloso do que no solo arenoso.

De acordo com os autores, este padrão é inverso à lógica de que com o aumento da matéria orgânica (típico de solo argiloso) há aumento da adsorção. Tal fato indica que no caso do cadusafós, este padrão não necessariamente se aplica e isto pode significar alto potencial de lixiviação deste composto no perfil do solo, o que é ainda mais relevante quando considerado o movimento da água.

Zheng et al. (1994) exploraram a adsorção e a dessorção como processos importantes que impactam a persistência e eficiência de nematicidas como o cadusafós. Em seu trabalho, utilizaram porções de solo provenientes de Martinique, na América do Norte, onde são cultivadas bananas; em pontos do Norte (ponto 1), em que o solo é predominantemente argiloso, do centro (ponto 2) e do Sul (pontos 3 e 4), onde solo é predominantemente arenoso.

O trabalho foi realizado entre os meses de novembro a janeiro, em que a temperatura não varia entre as quatro regiões, estando entre 23,2 e 25,7°C, e pluviometria distinta, com máxima de 1.440 mm no Norte e 670 mm no Sul.

Para a amostragem, o solo foi tratado com cadusafós e foram coletadas amostras em frações 5 cm de altura, de 0 a 25 cm no perfil vertical do solo. O comportamento do cadusafós apresentou relevantes diferenças entre os locais. Identificou-se que a mobilidade do cadusafós é maior verticalmente no solo conforme a fração arenosa é maior, uma vez que foram

encontrados resíduos de cadusafós em regiões mais profundas em um intervalo menor de dias nas regiões mais arenosas.

Observou-se que o cadusafós é mais persistente em solos argilosos e a adsorção é menor, enquanto que a dessorção, como um processo inverso, também é maior. Por fim, os autores ilustram o impacto da água na degradação e persistência do cadusafós; nas regiões em que a incidência de chuva é maior, a degradação foi também maior, evidenciado pelo teste em que a degradação atingiu níveis entre 40 e 50% quando o percentual de água no solo era de 50%, enquanto atingiu 65 a 70% quando o percentual de água no solo atingiu 100%.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de seringueira no Brasil, especificamente no sudeste brasileiro, é bastante promissor. No entanto, é alarmante a incidência de doenças no sistema radicular causadas pela ação de nematoides. A erradicação de *Meloidogyne* é bastante dificultada pelas vias de contaminação do solo, que são inúmeras e de difícil controle e monitoramento. Os nematoides podem ser carregados pelos pneus do maquinário utilizado nas fazendas, pelos calçados dos funcionários, como também estarem em mudas produzidas em solo contaminado. Este padrão coloca em risco grandes áreas de cultivo e a sustentabilidade da produção de regiões diversas, que pode ser afetada de forma indireta e, por vezes, irreversível.

Inicialmente é importante avaliar a procedência das mudas utilizadas na cultura, o cuidado com o maquinário, caso este seja utilizado para diferentes fins e em diferentes espaços, para que plantas vizinhas sejam poupadas e a contaminação não se alastre.

O controle dos nematoides também deve ser avaliado de acordo com os cultivos adjacentes. No caso de cultivos próximos ao café, cultura também afetada por formação de galhas nas raízes, é importante ressaltar que a mesma espécie que ataca o café pode também afetar a seringueira, o que resulta na perpetuação da doença nas duas culturas, apesar de se tratarem de raças distintas. Demais cultivos podem auxiliar no controle, como é o caso da mucuna-preta ou anã (*Stizolobium* spp.), que podem melhorar as condições do solo e otimizar o desenvolvimento de organismos antagônicos aos nematoides (WILKEN et al., 2015).

Além de estratégias biológicas, é necessário considerar as alternativas químicas de controle, de acordo com as particularidades do cultivo e do próprio defensivo, além de fatores

externos que afetam direta ou indiretamente o desempenho do nematicida, assim como seus efeitos a curto e a longo prazos.

Importante reforçar que não há registro do uso de nematicidas químicos para a heveicultura. As indicações dos fabricantes (bulas e receitas) não contemplam o uso em seringueira, o que dificulta avaliar e personalizar a abordagem correta do uso, tanto em termos de concentração quanto em termos de método de aplicação (aspersão e gotejamento, por exemplo), periodicidade, monitoramento, entre outros fatores.

A seringueira apresenta ciclo de vida longo, o que dificulta estimar o uso correto de cadusafós com base nas instruções especificadas para os demais cultivos indicados (como soja e cana-de-açúcar), de ciclo mais curto.

Ao optar-se pelo uso de agrotóxicos, é essencial considerar também os riscos que podem ter no ambiente em que a aplicação é feita. Aspectos físico-químicos como o tipo de solo, a mobilidade do composto, potencial de sorção e dessorção, a temperatura, pH, incidência de chuvas e concentração do composto têm influência na eficiência do nematicida, assim como seu impacto, que pode ser muito prejudicial à fauna e à flora local, tanto no perfil vertical quanto horizontal do solo, com alto potencial de atingir lençóis freáticos.

Além disso, a cultura tem importante papel na dinâmica do solo, na absorção de nutrientes e demais substâncias e, conseqüentemente, na eficiência do nematicida. Por isso é importante considerar as particularidades da cultura e da dinâmica do solo local. A alta incidência de folhas de seringueira caídas no solo, por exemplo, influencia na taxa de matéria orgânica no solo, impactando diretamente os aspectos físico-químicos e biológicos do solo.

Ainda considerando que a seringueira tem ciclo de vida longo, seriam necessárias sucessivas aplicações para o controle dos nematoides e a biota do solo pode se tornar gradativamente mais eficaz na biodegradação do cadusafós, de acordo com o aumento no número de aplicações. Uma alternativa para este cenário compreende a alternância de métodos e compostos, análogos ou não, para evitar que este fenômeno aconteça e as aplicações se tornem praticamente inúteis. Ademais, é importante considerar que a biota também é capaz de se adaptar de forma cruzada ao defensivo análogo, o que inutilizaria seu uso.

4 CONCLUSÕES

O controle químico com nematicidas é uma importante alternativa para o manejo de culturas que sofrem perdas relevantes por conta de doenças causadas por estes microorganismos. A seringueira, apesar de, comparativamente às outras culturas brasileiras, não ser de alto interesse econômico, ainda é atualmente produto indispensável à economia, já que fornece matéria prima para diversas indústrias, é fonte de receita de muitas pessoas e, atualmente, supre $\frac{1}{3}$ da demanda brasileira.

É importante avaliar se realmente é interessante utilizar-se o controle químico (especificamente, o cadusafós) no controle de nematoides na heveicultura. Do ponto de vista ambiental, o processo de biodegradação mostra-se relevante por ser uma importante ferramenta na remediação de solos contaminados por pesticidas. Agronomicamente, pode ser uma forma de diminuir a eficiência do processo que se deseja realizar ou até mesmo torná-lo inútil.

É possível notar que a eficiência do nematicida e a biodegradação dependem, principalmente, do desenvolvimento da biota do solo. Fatores que otimizam o crescimento populacional do microorganismos envolvidos afetam diretamente o desempenho do defensivo e também sua persistência no solo. Diferentes ecossistemas, com diferentes condições climáticas e solos com diferentes características apresentam perfis diferentes de biodegradação.

De certa forma, a partir de um determinado ponto do ciclo de vida da cultura e do uso do nematicida, submeter o solo a um processo que tem efeitos indiretos e não pretendidos mais importantes que os efeitos diretos que se deseja, no caso de promover uma contaminação no perfil vertical ou horizontal, enquanto o controle da população de nematoides não acontece, é como investir em uma solução para causar um novo problema.

Conclui-se então que, ainda que bastante relevante, diante do contexto apresentado neste trabalho, deve-se considerar que o uso de cadusafós no manejo da cultura de seringueira seja avaliado com ressalva, analisando-se fatores inerentes à cultura, ao meio e ao defensivo utilizado, uma vez que os estudos ainda são incipientes e não há, até o momento, registros que respaldem o uso do cadusafós no manejo de fitonematoides na cultura de seringueira.

REFERÊNCIAS

- ABO-AMER, A. E. Characterization of a strain of *Pseudomonas putida* isolated from agricultural soil that degrades cadusafos (an organophosphorus pesticide). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, n. 3, p. 805-814, 2012.
- AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Nematoides – Pimenta**, 2012a. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/arvore/CONT000gn0k9bx902wx5ok0liq1mqut1365k.html>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.
- AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Nematoides – Cenoura**, 2012b. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cenoura/arvore/CONT000gnhpbfhf02wx5ok0edacxlrlsvdgr.html>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.
- AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Perdas de agrotóxicos**, 2014. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_39_210200792814.html>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.
- AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Biodegradação**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia23/AG01/arvore/AG01_27_299200692526.html>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.
- ALLSOPP, P.G.; MCGILL, N.G. Use of cadusafos and terbufos against larvae of *Antitroglus parvulus* and *Antitroglus consanguineus* (Coleoptera: Scarabaeidae) in sugarcane in southern Queensland. **Crop Protection**, v. 16, n. 4, p. 371-374, 1997.
- ADAMA Brasil. **Nimitz EC**, 2018. Disponível em: <<https://www.adama.com/documents/407112/6352131/Nimitz%C2%AE+-+Bula>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.
- AGUIAR, A. T. E; MARTINS, A.L.M; GONÇALVES, E.C.P; JÚNIOR, E.J.S; BRANCO, R.B.F. Correlações e análise da trilha em clones de seringueira. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 602 – 607, 2010.
- AMVAC – American Vanguard Company (Chemical Corporation). **Counter 150G**, 2018. Disponível em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Inseticidas/counter150g.pdf>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.
- ARAÚJO, F.F.; BRAGANTE, R.J.; BRAGANTE, C. E. Controle genético, químico e biológico da meloidoginose na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 220-224, 2012.
- BARBOSA, D. H. S. G. **Manejo cultural, químico e genético em áreas cafeeiras infestadas por *Meloidogyne exigua* na região noroeste fluminense**. Tese (Doutorado em

Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos de Goytacazes. 2008.

BOHNER, T. O. L.; ARAÚJO, L. E. B.; NISHIJIMA, T. O impacto ambiental do uso de agrotóxicos no meio ambiente e na saúde dos trabalhadores rurais. **Revista Eletrônica do Curso de Direito – UFSM**, Santa Maria, 2013.

BRASIL. **Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989**. Brasília, 11 de julho de 1989.

CECAFE – Conselho dos Exportadores de Café do Brasil. **Brasil exporta mais de 30,7 milhões de sacas de café em 2017**. Disponível em: <<https://www.cecfe.com.br/publicacoes/brasil-exporta-mais-de-307-milhoes-de-sacas-de-cafe-em-2017-20180116/>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.

DW – Deutsche Welle, 2012. **Borracha natural causa menos impacto ao meio ambiente**. Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/borracha-natural-causa-menos-impacto-ao-meio-ambiente/a-16279621>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

ELSHAFEL, G.S.; NASR, I.N.; HASSAN, A.S.; MOHAMMAD, S.G. Kinetics and thermodynamics of adsorption of cadusafos on soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, n. 2-3, p. 1608-16, 2009.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. **Tecnologia torna viável o cultivo de seringueira na Amazônia**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/1491178/tecnologia--torna-viavel-o-cultivo-de-seringueira-na-amazonia>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

EMPRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números**, 2018a. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.

EMPRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Fumigação**, 2018b. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em 25 de novembro de 2018.

FMC Química do Brasil. **Relatório de Produto – Rugby 200 CS**, 2008. Disponível em: <<https://www.fmcagrica.com.br/portal/produtos/pdf/Rugby%20200%20CS%20-%20FISPQ.pdf>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.

FMC Química do Brasil. **Relatório do Produto: Furadan 350 SC**, 2017. Disponível em: <https://www.fmcagrica.com.br/bula_geraPDF.aspx?cod=3%20>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

FSB – Food Safety Brazil. **Fumigação para o embarque, controle fitossanitário em cargas alimentícias e embalagens de madeira**, 2015. Disponível em: <<https://foodsafetybrazil.org/fumigacao-para-o-embarque-controle-fitossanitario-em-cargas-alimenticias-e-embalagens-de-madeira/>>. Acesso em 25 de novembro de 2018.

GASPAROTTO, L; PEREIRA, J. C. R; FURTADO, E.L.; SANTOS, E.F; MOREIRA, A. **Manual de identificação de doenças da cultura da seringueira**. Brasília: Embrapa, 2016.

GR – Globo Rural. **Brasil produz apenas 35% da demanda nacional por borracha natural**, 2017. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2014/06/brasil-produz- apenas-35-da-demanda-nacional-por-borracha-natural.html>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.

IAC – Instituto Agrônomo, 2013. **A Importância da Borracha Natural**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/seringueira/importancia.php>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.

IBGE – Portal de Notícias. **Agronegócio impulsiona avanço do PIB do 1º trimestre, aponta IBGE**, 2018. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/economia-e- finanças/2018/05/agronegocio-impulsiona-avanco-do-pib-no-1-trimestre-aponta-ibge>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

KARPOUZAS, D. G; KARANASIOS, E.; MENKISSGLU-SPIROUDI, U. Enhanced microbial degradation of cadusafos in soils from potato monoculture: demonstration and characterization. **Chemosphere**, v. 56, n. 6, p. 549-59, 2004a.

KARPOUZAS, D.G; KARANASIOS, E.; MENKISSGLU-SPIROUDI, U; GIANNAKOUB, I.O; GEORGIADOU, A. The effect of soil fumigants methyl bromide and metham sodium on the microbial degradation of the nematicide Cadusafos. **Soil Biology & Biochemistry**, v.37, p. 541–550, 2004b.

KARPOUZAS, D. G; FOTOPOULOU, A; ENKISSGLU-SPIROUDI, U; SINGH, B.K. Non-specific biodegradation of the organophosphorus pesticides, cadusafos and ethoprophos, by two bacterial isolates. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 53, n. 3, p. 369-78, 2005.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional de Eliminação do Brometo de Metila**, 2015. Disponível em: <<http://protocolodemontreal.org.br/eficiente/repositorio/publicacoes/596.pdf>>. Acesso em 25 de novembro de 2018.

MEHER, H.C.; GAJBHIYE, V.T.; SINGH, G.; KAMRA, A.; CHAWLA, G. Persistence and nematicidal efficacy of carbosulfan, cadusafos, chorate, and triazophos in soil and uptake by chickpea and tomato crops under tropical conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 3, p 1815 – 1822, 2010a.

MEHER, H.C.; GAJBHIYE, V.T.; SINGH, G.; KAMRA, A.; CHAWLA, G. Nematicidal efficacy, enhanced degradation and cross adaptation of carbosulfan, cadusafos and triazophos under tropical conditions. **Nematology**, v. 12, p. 211-224, 2010b.

MOREIRA, F.J.C; SANTOS. C.D.G; INNECCO, R; SILVA, G.S. Controle alternativo de nematoide das galhas (*Meloidogyne incognita*) raça 2, com óleos essenciais em solo. **Summa Phytopathologica**, v.41, n.3, p.207-213, 2015.

PDA - Portal do Agronegócio. **Brometo de metila não está proibido**, 2016. Disponível em: Acesso em: <<https://www.portaldoagronegocio.com.br/noticia/brometo-de-metila-nao-esta-proibido-140925>>. 25 de novembro de 2018.

PDA - Portal do Agronegócio. **Brasil é o maior produtor de borracha natural da América Latina**, 2018. Disponível em: <<https://www.portaldoagronegocio.com.br/noticia/brasil-e-o-maior-produtor-de-borracha-natural-da-america-latina-172199>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

PINHEIRO, E. C., H. E. O. DA; VIÉGAS, I. DE J. M.; PINHEIRO, F. S. V. **Estratégias para controle do mal-das-folhas (*Microcylus ulei* H. Henn)/V. Arx, na seringueira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 27 p. 2002.

RG -Revista Galileu. **Líder mundial, Brasil pode ganhar mais agrotóxicos na comida**, 2018. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2018/05/lider-mundial-brasil-pode-ganhar-mais-agrotoxicos-na-comida.html>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.

SINDIVEG – Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. **O que você precisa saber sobre defensivos agrícolas**, 2018. Disponível em: <<http://sindiveg.org.br/wp-content/uploads/2018/08/oquevoceprecisasabersobredefensivosagricolas.pdf>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.

SILVA, R. V. OLIVEIRA, R.D.L; FERREIRA, P.S.; SÊNI, D.J.; CASTRO, D.B. Preservação da capacidade reprodutiva de *Meloidogyne exigua* em mudas de pimentão. **Tropical Plant Pathology**, vol.33, n.5, pp.356-362, 2008.

SILVA, C. M. A. M. A. D. S.; FAY, E. F.; ABAKERLI, R. B. **Biodegradação de fungicidas**. Microbiologia ambiental. Embrapa Meio Ambiente. 2ª ed. p. 378-417, 2008b.

SILVA, R. V. **Resistência do cafeeiro a *Meloidogyne exigua*: mecanismos de natureza genética e potencializados pelo silício**. 2009. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2009.

SILVA, M.F.O; COSTA, L.M. **A indústria de defensivos agrícolas**. BNDES Setorial 35, p. 233 –276, Brasil, 2010.

SNA – Sociedade Nacional de Agricultura. **Uso excessivo reduz a eficiência de defensivos agrícolas nas lavouras**, 2015. Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/uso-excessivo-reduz-a-eficiencia-de-defensivos-agricolas-nas-lavouras/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

SOARES, P. L. M. **Estudo do controle biológico de fitonematóides com fungos nematófagos**. 2009. Tese (Doutorado em Etmologia Agrícola) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal. 2009.

SOKHANDANI, Z.; MOOSAVI, M. R.; BASIRNIA, T. Optimum concentrations of *Trichoderma longibrachiatum* and cadusafos for controlling *Meloidogyne javanica* on zucchini plants. **Journal of nematology**, v. 48, n. 1, p. 54-63, 2016.

TAKAHASHI, V. S. P. **Inter-relações entre nematoides, fungo e a cultura da seringueira**. 2015. 96 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal. 2015.

WILCKEN, S.R.S; GABIA, S.S.; BRITO, P.F.; FURTADO, E.L. Nematoides fitoparasitas em seringais do Estado de São Paulo. **Summa phytopathologica**, Botucatu, v. 41, n. 1, p. 54-57, 2015.

ZEHNG, S.Q.; COOPER, J.F.; PALCY, L; COSTE, C.M.; MARMOTTE, P. Mobility and dissipation of cadusafos in banana fields in Martinique. **The Science of Environment**. v. 156, p 1 – 9, 1994.